

宁夏大学优秀学术著作出版基金资助

水资源 空间优化配置

侯景伟 孙九林 著

Spatial Optimal
Allocation
of Water
Resources



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

责任编辑—— 杨敏媛

封面设计—— 赵 倩



本书针对水资源空间优化配置涉及大量的数据、多目标多约束的模型、大范围大系统的优化求解、多种可选择的配置方案等问题，以河南省镇平县为例，在需水现状评估和需水预测的基础上，分析了水资源空间优化配置模型，验证了ACA与遥感（RS）、GIS的耦合方法对解决水资源优化配置问题的可行性和有效性。●



侯景伟 孙九林 著

水资源 空间优化配置

宁夏大学优秀学术著作出版基金资助

本书针对水资源空间优化配置涉及大量的数据、多目标多约束的模型、大范围大系统的优化求解、多种可选择的配置方案等问题，以河南省镇平县为例，在需求现状评估和需求预测的基础上，分析了水资源空间优化配置模型，验证了ACGL遥感（RS）、GIS的耦合方法对解决水资源优化配置问题的可行性和有效性。



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水资源空间优化配置 / 侯景伟, 孙九林著. —银川:
宁夏人民出版社, 2016.5
ISBN 978-7-227-06350-6

I. ①水… II. ①侯… ②孙… III. ①水资源—资源
配置—研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第121439号

水资源空间优化配置

侯景伟 孙九林 著

责任编辑 杨敏媛
封面设计 赵倩
责任印制 肖艳



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社 出版发行

出版人 王杨宝
地址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦 (750001)
网址 <http://www.nxp-ph.com> <http://www.yrpubm.com>
网上书店 <http://shop126547358.taobao.com> <http://www.hh-book.com>
电子信箱 nxrmcbs@126.com renminshe@yrpubm.com
邮购电话 0951-5019391 5052104
经销 全国新华书店
印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司
印刷委托书号 (宁) 0001257

开本 787mm×1092mm 1/16
印张 13 字数 210千字
版次 2016年6月第1版
印次 2016年6月第1次印刷
书号 ISBN 978-7-227-06350-6/TV·2
定价 30.00元

版权所有 侵权必究

前 言

开展水资源空间优化配置研究对合理有效利用水资源,促进人口、资源、环境与经济的协调发展,加速工程水利向资源水利的转变,深化和拓展大系统多目标优化的理论与方法都有着非常重要的作用。但是,由于水资源空间优化配置涉及大量的数据、多目标多约束的模型、大范围大系统的优化求解、多种可选择的配置方案等复杂问题,如何在空间上最优化配置水资源以产生最大综合效益成为亟待解决的问题。

本研究探讨了利用蚁群算法(ACA)与 RS、GIS 的耦合方法来解决水资源空间优化配置问题。以河南省镇平县为研究区,在水资源需求类型提取、需水现状评估和需水预测的基础上,分析了水资源空间优化配置模型,借助 ACA 在 GIS 平台上对水资源优化模型进行求解,提出了基于像元微单元的水资源空间优化配置方案,并通过实例仿真和与其他智能优化算法的比较,验证了 ACA 与 RS、GIS 的耦合方法对解决水资源优化配置问题的可行性和有效性。研究的主要结论如下:

(1)通过局部信息素和全局信息素自适应动态更新和权值低通滤波器构建,对 Pareto 蚁群算法(PACA)进行了改进。改进后的 PACA 能以多目标函数值作为适应度来调整蚂蚁觅食像元上的信息素,使蚂蚁朝着信息素强的优化边界方向移动,依据最大适应度值,确定水资源优化配置的多目标优化解。与其他智能优化算法的比较和评估结果显示,改进后 PACA 的最优性能指标、时间性能指标和鲁棒性能指标评价分别为 0.398、21.6 和 5.38,明显优

于基本蚁群算法的三个性能指标值(2.108、36.8 和 8.16);改进后 PACA 的解的个数、间距和最大散布范围分别为 389、0.68 和 183.58, 优于遗传算法和 BP 神经网络所得结果,表明 PACA 能找到最优解或近似最优解,平衡了加速收敛和早熟、停滞现象之间的矛盾,提高了全局搜索能力和收敛速度;比较不同水平年(2010、2020 和 2030 年)、不同保证率(50%、75%和 95%)、不同水源(地表水、地下水和外调水)的原始水量和优化水量,进一步说明优化结果合理可行,PACA 具有较高的寻优性能。

(2)ACA 与 RS、GIS 的耦合能够较为准确地确定水资源需求类型和需水现状,从而为水资源优化配置、优化调度、管理与规划等提供数据支撑和决策参考。在遥感影像上,利用蚁群聚类算法(ACCA)能较为准确地提取水资源需求类型;再借助 NDVI、NDII、NDBI 和 MNDWI 等 RS 技术和实地调查,能更准确地确定水资源需求类型;在此基础上借助 GIS 技术评估水资源需求现状。ACCA 的总 F-measure 最大,为 0.918,高于最大似然法和最小距离法的 F-measure 值(0.884 和 0.851),说明基于 ACCA 的水资源需求分类结果的查准率和查全率最大,分类精度高,抗噪声干扰能力强。

(3)ACA 与 PP 需水预测模型的耦合能够较为准确地获得具有高维非线性预测模型的最优参数组合,从而提高了预测水量的拟合精度和预测精度,为水资源优化配置与调度提供了较为准确的参考依据。投影寻踪(PP)需水预测模型适合于系统机理不够清晰或水文地质资料缺乏的地区。通过对连续域蚁群算法进行设计和改进,使其能更好地收敛于全局最优解,并具有较强的抗噪声能力,避免早熟收敛现象,为解决 PP 需水预测模型的参数优化问题开辟了新的途径。案例仿真表明,基于 ACA 的 PP 需水预测模型的拟合精度非常高,相对误差绝对值都小于 2%,大多在 1%以下,明显优于人工免疫算法(10%)和 BP 神经网络(12%)。该方法可以推广到其他高维非线性问题的求解。

(4)以生态经济学理论和可持续发展理论为基础的水资源空间优化配置模型将社会、经济和生态环境综合效益最大作为目标函数,将水质、水量、水环境等作为约束条件,体现了模型具有多目标、多约束、多层次、多用户的

特点,实现了基于像元微单元的水质与水量的耦合以及经济、社会与生态效益的耦合。

(5)ACA 与 RS、GIS 的耦合能够求解复杂的水资源优化配置模型,实现了重构方案和配置结果的可视化表达和有效性验证。通过对模型的求解,获得了不同的基于像元微单元的需水量、可用地表水、可用地下水、可用外调水的配置方案,以及不同的经济效益、社会效益、生态效益和综合效益方案。通过不同水平年的水量平衡分析,表明了 PACA 与 RS、GIS 的耦合方法能有效地求解大范围、多目标水资源优化配置模型,从而为分水用水政策的制定提供决策参考。

ACA 与 RS、GIS 的耦合拓展和深化了水资源优化配置和最优化的理论与方法以及 RS 和 GIS 的应用领域,为解决类似的复杂多目标多约束问题提供了一种新途径。

目 录

1	水资源空间优化配置概述 / 1
1.1	引言 / 1
1.1.1	水资源供需矛盾日益严重 / 1
1.1.2	水资源配置与空间优化 / 3
1.1.3	水资源空间优化配置研究的意义 / 4
1.2	本书的研究目标与意义 / 5
1.3	本书的体系结构 / 7
2	水资源空间优化配置的理论基础 / 8
2.1	水资源需求预测的理论基础 / 8
2.1.1	需水预测方法 / 8
2.1.2	预测模型参数优化 / 9
2.1.3	需水预测的主要问题和的发展趋势 / 10
2.2	水资源优化配置的理论基础 / 11
2.2.1	基于水量的优化配置阶段 / 12
2.2.2	基于水质—水量联合的优化配置阶段 / 15
2.2.3	基于空间的水资源优化配置阶段 / 16
2.2.4	GIS 在水资源优化中的应用 / 17
2.2.5	水资源优化配置的主要问题和的发展趋势 / 19
2.3	蚁群算法的理论基础 / 19
2.3.1	离散域蚁群算法 / 20
2.3.2	连续域蚁群算法 / 20

- 2.3.3 蚁群聚类算法 / 22
- 2.3.4 多目标蚁群算法 / 23
- 2.3.5 蚁群算法的主要问题和发展趋势 / 25
- 2.4 研究主要解决的问题 / 26
- 3 水资源空间优化配置的方法论基础 / 27
 - 3.1 研究区概况 / 27
 - 3.1.1 基本概况 / 27
 - 3.1.2 水资源概况 / 28
 - 3.1.3 数据采集与处理 / 31
 - 3.2 研究总体思路 / 32
 - 3.3 关键技术与方法 / 33
 - 3.3.1 多目标水资源优化配置模型构建 / 33
 - 3.3.2 参数优化提取 / 34
 - 3.3.3 蚁群算法的改进 / 34
 - 3.3.4 水资源优化配置方案评价 / 35
 - 3.4 技术路线 / 35
 - 3.4.1 基础资料的收集 / 35
 - 3.4.2 数据管理与处理 / 35
 - 3.4.3 空间分析和数据建模 / 35
 - 3.4.4 数据显示和辅助决策 / 37
- 4 水资源需求现状评估 / 38
 - 4.1 水资源需求量的组成、特点与评估 / 39
 - 4.1.1 水资源需求量的组成结构 / 39
 - 4.1.2 水资源需求量的特点 / 39
 - 4.1.3 水资源需求量的评估 / 40
 - 4.2 基于蚁群聚类算法的水资源需求评估 / 42
 - 4.3 蚁群算法在 GIS 中的实现 / 46
 - 4.4 水资源需求量求解 / 47
 - 4.4.1 水资源需求类型提取 / 47
 - 4.4.2 林地与草地的进一步分类 / 48

4.4.3	像元上人畜数量和工业总产值的确定 / 51
4.4.4	建筑用地中居民地的确定 / 52
4.4.5	水体中非水体信息的处理 / 53
4.4.6	水资源需求量的计算 / 54
4.5	结果验证与评估 / 55
4.5.1	蚁群聚类算法与其他方法的比较 / 55
4.5.2	聚类结果的 F-measure 评价 / 56
4.6	小 结 / 59
5	水资源需求预测分析 / 60
5.1	PP 需水预测模型 / 61
5.1.1	投影寻踪模型构建 / 61
5.1.2	需水预测驱动因素分析 / 63
5.1.3	基于投影寻踪的需水预测模型 / 63
5.2	基于 ACA 的模型参数优化 / 64
5.2.1	参数优化目标函数的建立 / 64
5.2.2	参数优化的蚁群算法设计 / 64
5.2.3	参数优化 ACA 的实现步骤 / 66
5.3	实例仿真 / 66
5.3.1	案例区水资源现状 / 66
5.3.2	驱动因子确定和缺失数据处理 / 68
5.3.3	年需水量预测 / 70
5.3.4	ACA 有效性验证 / 72
5.3.5	镇平县水资源供需平衡与缺水分析 / 74
5.4	小 结 / 77
6	水资源优化配置模型分析 / 78
6.1	水资源优化配置 / 78
6.1.1	水资源优化配置原则 / 78
6.1.2	水资源优化配置分类 / 80
6.1.3	水资源优化配置基本模式 / 81
6.2	多目标优化问题 / 82

- 6.2.1 多目标优化问题定义 / 82
- 6.2.2 多目标函数处理方法 / 83
- 6.2.3 约束条件处理方法 / 84
- 6.3 多目标优化问题分类 / 85
 - 6.3.1 依据发展历史分类 / 86
 - 6.3.2 依据决策方式分类 / 86
 - 6.3.3 依据选择机制分类 / 87
- 6.4 基于多目标的水资源优化配置模型构建 / 87
 - 6.4.1 建模总体思路 / 87
 - 6.4.2 目标函数构建 / 88
 - 6.4.3 约束条件构建 / 89
 - 6.4.4 模型特点与功能 / 90
- 6.5 小 结 / 91
- 7 水资源优化配置模型求解 / 92
 - 7.1 PACA 相关定义和求解思路 / 93
 - 7.1.1 Pareto 相关定义 / 93
 - 7.1.2 Pareto 蚁群算法相关定义 / 95
 - 7.1.3 基于 PACA 的模型求解思路 / 96
 - 7.2 PACA 策略设计 / 97
 - 7.2.1 禁忌表调整 / 98
 - 7.2.2 伪随机并行搜索 / 98
 - 7.2.3 信息素局部动态更新 / 99
 - 7.2.4 全局信息素动态更新 / 100
 - 7.2.5 最近邻域选择 / 101
 - 7.2.6 权值低通滤波器 / 102
 - 7.2.7 Pareto 解集过滤器 / 102
 - 7.2.8 Pareto 最优解集的分布性 / 103
 - 7.3 PACA 的多目标寻优过程 / 103
 - 7.4 PACA 参数对算法性能影响的实验分析 / 104
 - 7.4.1 初始参数的确定 / 104

7.4.2	蚂蚁数目对算法性能的影响 / 105
7.4.3	启发因子对算法性能的影响 / 105
7.4.4	期望启发因子对算法性能的影响 / 106
7.4.5	信息素挥发因子对算法性能的影响 / 106
7.4.6	信息素强度对算法性能的影响 / 106
7.5	水资源优化配置评估 / 107
7.5.1	间距评估 / 107
7.5.2	最大散布范围评估 / 107
7.5.3	优劣度评判指数 / 108
7.5.4	水资源优化配置系统熵 / 108
7.6	实例仿真 / 108
7.6.1	参数设置与模型求解 / 108
7.6.2	重构方案分析 / 110
7.6.3	配置结果分析 / 121
7.6.4	PACA 效能验证 / 123
7.6.5	对策与建议 / 126
7.7	小 结 / 128
8	水资源空间优化配置的研究展望 / 130
8.1	水资源空间优化配置的工作流程 / 130
8.2	水资源空间优化配置的方法论体系 / 131
8.2.1	蚁群算法的改进 / 131
8.2.2	模型构建 / 132
8.2.3	水资源需求现状评估 / 132
8.2.4	水资源需求预测 / 132
8.2.5	水资源空间优化配置模型求解 / 132
8.3	水资源空间优化配置是水资源配置理论的拓展和深化 / 133
8.3.1	通过 RS、GIS 与 ACA 的耦合方法来解决水资源优化配置问题 / 133
8.3.2	对 Pareto 蚁群算法的改进 / 133
8.3.3	水资源空间优化配置模型的构建和求解 / 134
8.4	不足与展望 / 134

图索引 / 136

表索引 / 138

参考文献 / 140

附录

附录 A 基于 ArcGIS Engine 的离散域蚁群算法代码 / 168

附录 B 确定水资源需求类型的蚁群聚类算法主要代码 / 176

附录 C 需水预测模型参数优化的连续域蚁群算法主要代码 / 185

附录 D 求解水资源优化配置模型的 Pareto 蚁群算法主要代码 / 190

后记 / 198

1 水资源空间优化配置概述

1.1 引言

1.1.1 水资源供需矛盾日益严重

水是生命之源、生产之要、生态之基。

水资源是指在一定的经济技术条件下,人类能够直接利用的淡水资源。水资源空间优化配置(Optimal Spatial Allocation of Water Resources, OSAWR)是指在一个特定的区域内,以公平、效率、协调、安全为原则,以经济、社会、生态环境的综合效益最大为目标,通过各种工程与非工程措施,对水资源在不同时间、空间、部门间、水源间进行协调,达到人水和谐,实现水资源的可持续利用和经济社会的可持续发展(侯景伟等,2011)。

水资源优化配置对合理有效利用水资源,促进人口、资源、环境、经济协调发展以及工程水利向资源水利的转变,深化和拓展大系统多目标优化的理论与方法都有着非常重要的作用。

1.1.1.1 水资源供需矛盾日益加剧

随着社会经济的发展、人口的增长和人民生活水平的提高,不断增长的水资源需求量与有限的水资源供给量之间的矛盾日益尖锐。水资源短缺、浪费与水质污染是造成水资源供需矛盾的主要原因(陈家琦,1994;刘善建,2000)。

①水资源紧缺,供需矛盾加剧。地球上淡水资源的储量十分有限,再加上多数地区水资源时空分布不均匀,季节变化和年际变化较大,以及人类对水资源需求的急剧增长,水资源供需矛盾更加突出,水资源配置难度增加。我国水资源总量为 28124 亿 m^3 ,居世界第 5 位,而人均水资源量为 2163 m^3 ,仅相当于世界人均水资源量的 1/4,被列为世界上 12 个贫水国之一。水资源短缺已严重制约着国民经济和社会的发展。

②水质污染严重,水资源有效利用量减少。工农业生产和人们生活用水量的增加,加剧了工业废水和生活污水的排放量;而未经处理的污水加剧了水资源的短缺,使水资源的有效利用量减少。全世界每年排放的污水达 4000 多亿吨,5 万多亿吨水体被污染,数百万人死于污染水质所引起的疾病。对我国 532 条河流的监测显示已有 426 条受到污染。中国每年水质污染造成的直接经济损失超过 434 亿元。

③水资源浪费惊人,加剧了供水紧张程度。农业用水浪费最为严重,主要表现为工程老化,大水漫灌,渠系水利用系数低,灌溉水利用率低。工业用水浪费主要表现为工艺水平低,单位产品耗水量高,水的重复利用率低。城市供水的管道漏失造成的浪费也很严重。

开源、节流、治污和优化配置是解决水资源供需矛盾的主要途径。在水资源量丰富、水资源开发利用率低低的地区,可通过兴修水利工程、开发新水源、提高水资源利用率等途径来增加该地区的水资源供应能力。在水资源相对贫乏且水资源开发利用率已很高的地区,可通过节水技术、方法和措施以及提高人们的节水意识等措施来减少水资源的浪费。加大污水治理力度,兴建污水处理厂与中水利用系统,提高人们的环保意识,也是缓解水资源供需矛盾的重要途径。通过运用新的科学技术,对有限的水资源进行优化配置,使水资源得到充分高效合理利用,从而促进社会经济的协调可持续发展(陈家琦等,1995)。

本研究选取了解决水资源供需矛盾的途径之一——水资源优化配置作为研究对象。

1.1.1.2 水资源优化配置问题突出

①水资源多为自然配置。水资源自然配置多是以耕作区、聚居区和放牧区来按需配置水资源,其主要弊端有:农业用水大户制约着其他行业的发展;一条河流的中上游任意取水,导致下游地区缺水或无水;江河上游沿岸地区大量砍伐涵养林,沼泽地区过度开垦,草原地区过度放牧,土地沙化严重,生态环境恶化,江河流量减少,加剧了中下游地区的水资源供需矛盾;流域间调水难度较大,不能使有限的水资源得到充分利用。

②供水价格背离价值。由于水价改革滞后,使供水价格严重背离价值,造成水利大量工程老化失修,而新建水源工程举步艰难,不利于水利建设的可持续发展。节水意识淡漠,用水浪费严重。全国工业用水重复利用率和农业灌溉水利

用系数分别约为 0.4 和 0.45,各占发达国家的一半左右。

③水资源分配理论体系不够健全。水资源分配理论体系涉及自然科学、经济学、社会学、生态学及环境学等领域学科。虽然在区域水资源规划、供水、防洪、灌溉、发电、水污染防治、水利工程投资、水利工程环境影响评价等方面已经进行了深入而广泛的理论与方法研究,但就水资源的合理利用和科学配置来说,还没有建立一套完整的涵盖基本概念、基本原理、技术与方法的理论体系,从而使水资源合理配置缺乏完善的科学基础和理论依据。

④空间配置研究不多,配置方案难以实施。目前,水资源优化配置的研究虽然成果不少,方法很多,但是很少触及空间配置,从而很少应用到现实当中,实施起来难度很大。一些配置方案应用到实际工程中效果不十分理想,从而难以推广。

由于水资源空间优化配置涉及大量的数据、多目标多约束的模型、大范围大系统的优化求解、多种可选择的配置方案等复杂问题,如何解决在空间上最优化地配置水资源以产生最大综合效益成为亟待解决的问题。

针对水资源配置所存在的众多问题,本研究进一步选取了水资源空间配置作为研究对象。

1.1.2 水资源配置与空间优化

近年来,随着科学技术的飞速发展,空间优化决策变得日益重要,同时也更加复杂。传统的水资源优化方法往往忽略了水资源空间配置的优化;使抽象的数学模型容易脱离实际;难以全面考虑复杂、抽象的优化因素;不便有效组织多源的相关数据进行综合分析;不能为决策人员提供直观、交互的分析工具。传统的方法已经不能对许多问题给出令人满意的答案,因而需要人们借助于各个学科和专业的优势,运用新的理论和方法解决这类问题(杜国明等,2006)。

随着地理信息系统(Geographical Information System, GIS)技术的发展,特别是 GIS 技术与建模技术和优化技术的融合,传统优化方法面临的问题便迎刃而解了。GIS 是由计算机硬件、软件和不同的方法组成的系统,该系统设计支持空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示,以便解决复杂的规划和管理问题。水资源优化问题是一个多条件约束的最佳方案选择问题,同时,这些条件又与特定的地理实体相关。GIS 提供了水资源系统的空间表达和空间关系,融合空间尺度到传统的水资源数据集合中,包括与水资源优化相联系的社会、经济和